

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-180883

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 B	33/22		H 0 5 B	33/22
H 0 1 S	3/14		H 0 1 S	3/14
H 0 5 B	33/24		H 0 5 B	33/24
	33/26			33/26

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 10 頁)

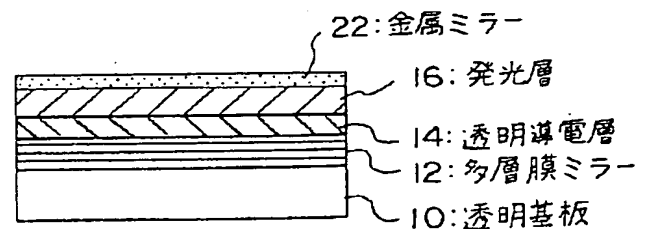
(21) 出願番号	特願平8-284241	(71) 出願人	000003609 株式会社豊田中央研究所 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番 地の1
(22) 出願日	平成8年(1996)10月25日	(72) 発明者	時任 静士 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番 地の1 株式会社豊田中央研究所内
(31) 優先権主張番号	特願平7-280162	(72) 発明者	野田 浩司 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番 地の1 株式会社豊田中央研究所内
(32) 優先日	平7(1995)10月27日	(72) 発明者	多賀 康訓 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番 地の1 株式会社豊田中央研究所内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 吉田 研二 (外2名)

(54) 【発明の名称】 微小光共振器型有機電界発光素子

(57) 【要約】

【課題】 高い発光効率を有するが発光スペクトルの幅が広い有機発光材料を利用でき、発光ピークの半値幅が狭く、かつ分光しなくても前方への指向性及び単色性に優れた微小光共振器型有機電界発光素子を提供する。

【解決手段】 多層膜ミラー12と金属ミラー22とにより微小光共振器が構成されており、これらの間に挟まれた透明導電層14と発光層16の膜厚と屈折率及び多層膜ミラー12への光の浸み込み量から算出される微小光共振器の光学長が、素子から放出される目標光の波長の1.5倍でかつその目標光は、発光材料の発光スペクトルの短波長側の立上がり部に設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率の異なる2種類の層が交互に積層された多層膜ミラーと、前記多層膜ミラーの上に形成された陽極としての透明導電層と、前記透明導電層の上に形成された一層または複数層の有機化合物層と、前記有機化合物層の上に形成され、光を反射できる陰極としての金属ミラーと、を有し、前記多層膜ミラーと前記金属ミラーとによって前記有機化合物層から出力された光の微小光共振器が構成され、前記微小光共振器からの発光が、そのスペクトルに低次モードが混在していない単一モードとなり、かつ素子前方に強い指向性を有する光となるように前記微小光共振器の光学長が設定されていることを特徴とする微小光共振器型有機電界発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は微小光共振器構造を利用して、半値幅の狭い発光スペクトルと前方への鋭い発光指向性を有する単色発光素子に関するもので、表示素子、通信用発光デバイスに利用される。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、情報機器の多様化及び省スペース化に伴い、CRTよりも低消費電力で空間占有面積の少ない平面型表示素子へのニーズが高まっている。このような平面型素子としては液晶、プラズマディスプレイなどがあるが、特に最近では自発光型で表示が鮮明な、また直流電圧で駆動が可能な有機電界発光素子への期待が高まっている。

【0003】 現在、達成されている有機電界発光素子の性能としては、駆動電圧10V以下で1000cd/m<sup>2</sup>以上の輝度を有し、発光色も青、緑、赤の3原色が可能となっている。しかし、発光材料の発光スペクトルが幅広いため、色純度が悪く、また素子からは広い角度にわたって光が放射され、指向性が低い等の問題がある。

【0004】 最近、金属ミラーあるいは多層膜ミラーを利用して素子内に微小光共振器を形成するとこの微小光共振器の間隔に対応した光が強調されて素子から放出されることが報告されている。具体的には、これらにより発光色の単色化や高指向性の研究が進められている (Appl. Phys. Lett., 63, 594(1993), (Appl. Phys. Lett., 63, 2032(1993).)。

【0005】 図16には、上述の微小光共振器を取り付け、素子に対する観察角度が0度、30度、60度の場合の発光スペクトルa、b、cと、微小光共振器がない場合の発光スペクトルdとが示される。ここで、観察角度とは、素子の発光面に立てた法線に対する観察者の見る角度をいう。

【0006】 図16に示されるように、微小光共振器がない場合の発光スペクトルdに比べ、微小光共振器を取り付けた場合の発光スペクトルa、b、cの方が半値幅の小さいスペクトルの発光が得られている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、微小光共振器を取り付けた場合の発光スペクトルa、b、cは、測定する角度によってピーク位置が変化している。つまり観察角度が大きくなると発光色が短波長側に変化し、様々な波長の光が見えている。

【0008】 図17には、微小光共振器を取り付けた場合の観察角度に対するその方向から見える光の強度の分布が示される。図17において、波長1、波長2、波長3はそれぞれ図16の発光スペクトルa、b、cに対応する光の強度であり、これらを含めて光全体すなわち分光しない光の強度分布は図の全波長によって表される。図17からわかるように、分光した光としては、各波長ごとに指向性が認められるが、分光しない光としての指向性はほとんどないという問題がある。すなわち、広い観察角度に亘って光の強度分布が広がっている。

【0009】 また、図16には目的の発光ピークa、b、c以外に長波長側に別の発光ピーク（低次モード）が観測され、多重モードとなっている。このため、色純度が低下するという問題もあった。

【0010】 多重モードの原因としては、微小光共振器内の有機化合物と透明導電層の厚みが厚いことが考えられる。一般には、酸化インジウム錫 (ITO) などの透明導電層と有機化合物層の合計が300nm以上での例が報告されているが、多重モードから低次モードを除去した単一モードとするためには、有機化合物と透明導電層の厚みを更に薄くする必要がある。

【0011】 発光スペクトルの角度依存性に関しては、鋭いピークの発光スペクトルを有する化合物を利用した素子で、角度依存性が小さくかつ半値幅の狭い発光スペクトルが素子前方へ強く放出されるとの報告がなされている (Appl. Phys. Lett., 65, 15(1994))。しかし、この材料の蛍光量子効率が高くないため光の強度が低く効率の良い発光は得られていない。

【0012】 本発明は上記従来の課題に鑑みなされたものであり、その目的は、高い発光効率を有するが発光スペクトルの幅が広い有機発光材料を利用でき、発光ピークの半値幅が狭く、かつ分光しなくても前方への指向性及び単色性に優れた微小光共振器型有機電界発光素子を提供することにある。

## 【0013】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明は、屈折率の異なる2種類の層が交互に積層された多層膜ミラーと、多層膜ミラーの上に形成された陽極としての透明導電層と、透明導電層の上に形成された一層または複数層の有機化合物層と、有機化合物層の

10

20

30

40

50

上に形成され、光を反射できる陰極としての金属ミラーと、を有する微小光共振器型有機電界発光素子であって、多層膜ミラーと金属ミラーとによって有機化合物層から出力された光の微小光共振器が構成され、微小光共振器からの発光が、そのスペクトルに低次モードが混在していない単一モードとなり、かつ素子前方に強い指向性を有する光となるように微小光共振器の光学長が設定されていることを特徴とする。

【0014】上記構成によれば、多層膜ミラーと金属ミラーとによって構成される微小光共振器により有機化合物層から出力された光のうち特定波長のものが共振し強められる。従って、有機化合物層から放出された光の中から所望の波長の光を取り出すことができる。

【0015】また、本願の他の実施形態によれば、上記本発明の微小光共振器型有機電界発光素子において、微小光共振器の光学長 $L$ が、多層膜ミラー内部への光の浸み込み分を考慮した式、

【数1】

$$L = \frac{\lambda}{2} \left( \frac{n_{eff}}{\Delta n} \right) + \sum n_i d_i \cos \theta$$

ここで、 $n_{eff}$ は多層膜ミラーの有効屈折率、 $\Delta n$ は多層膜ミラーの2つの層の屈折率の差、 $n_i$ と $d_i$ は有機化合物層と透明導電層の屈折率と層厚、 $\theta$ は有機化合物層同士または有機化合物層と透明導電層との各界面に入射する光と界面に立てた法線とのなす角度、で与えられ、その光学長 $L$ が目的の発光波長の1.5倍であることを特徴とする。

【0016】上記構成において、式の第1項の $\lambda/2 (n_{eff}/\Delta n)$ は、共振している光が多層膜ミラーへ浸み込む深さを表している。第1項からわかるように、 $n_{eff}$ と $\Delta n$ とは、多層膜ミラーを構成する材料によってきまる定数であるので、光の波長 $\lambda$ が決まれば浸み込む深さも決まることになる。また、第2項における各層の屈折率 $n_i$ も材料によってきまる定数であり、また多層膜ミラーの各層の厚さは $\lambda/4$ に設定されている。従って、光学長 $L$ は、透明導電層及び有機化合物層の厚さ $d_i$ を変更することにより制御することができる。

【0017】微小光共振器に共振する光の波長は、上述の光学長 $L$ によって決定される。すなわち、光学長 $L$ が $1/2$ 波長の整数倍に相当する光が微小光共振器に共振できる。従って、透明導電層と有機化合物層の合計の厚みを薄くし、光学長 $L$ を小さくして行くと、微小光共振器に共振して素子から放出される光の波長も短波長側に変化して行く。この場合、 $1/2$ 波長の1.5倍が光学長 $L$ と等しい光が共振する光として最も長波長である。従って、素子から放出される光はこれより短波長となる。素子から放出される光が短波長になると、素子前方への指向性が高い光を得ることができる。また、光学長 $L$ を小さくすると素子の発光モードを単一モードにする

ことができる。

【0018】また、本願の更に他の実施形態によれば、上記本発明の微小光共振器型有機電界発光素子において、多層膜ミラーの最上層が透明導電層で構成され、その最上層が多層膜ミラーと透明導電層とで兼用されていることを特徴とする。

【0019】上記構成によれば、最上層が多層膜ミラーと透明導電層とで兼用されているので、その分素子の厚さに余裕ができ、透明導電層を厚くすることができる。

【0020】また、本願の更に他の実施形態によれば、上記本発明の微小光共振器型有機電界発光素子において、目的の発光波長が、用いる発光材料の発光スペクトルにおいて、ピーク波長 $\lambda_m$ より短波長側の立上がり部に設定されたことを特徴とする。

【0021】また、本願の更に他の実施形態によれば、上記本発明の微小光共振器型有機電界発光素子において、有機化合物層が、発光層のみの単層構造、正孔輸送層と発光層または発光層と電子輸送層の2層構造、正孔輸送層と発光層と電子輸送層の3層構造のいずれかの構造からなることを特徴とする。

【0022】また、本願の更に他の実施形態によれば、上記本発明の微小光共振器型有機電界発光素子において、多層膜ミラーの各層の光学長が目的の発光波長の $1/4$ であることを特徴とする。

【0023】以上の各構成によれば、微小光共振器の光学長を制御し、目的の発光波長を最適化することにより、単色性及び前方への指向性の高い微小光共振器型有機電界発光素子を得ることができる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態を図面に基づいて説明する。

【0025】図1から図4には本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の実施形態の断面図が示される。これらの実施形態において、透明基板10の上には多層膜ミラー12が形成されている。多層膜ミラー12は、屈折率の異なる2種類の酸化物、窒化物あるいは半導体の層を交互に積層した多層膜である。その組み合わせの代表例としては、 $TiO_2$ と $SiO_2$ 、 $SiN_x$ と $SiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ と $SiO_2$ などの誘電体やGaAsとGaInAsなどの半導体多層膜がある。

【0026】多層膜ミラー12は、各層の界面で光を反射するが、各界面から反射してくる光が互いに強め合うように、使用する光の波長（目的とする発光波長） $\lambda$ に対して $\lambda/4$ の厚さに設定される。

【0027】多層膜ミラー12の上には透明導電層14が形成されている。この透明導電層14は陽極として機能するが、これには仕事関数の大きな材料が使用され、キャリアである正孔が有機化合物層へ注入されやすくなっている。透明導電層14としては、例えば、Pt, Au, Ni, Cu, Ag, Ru, Crなどの金属とITO

(Indium Tin Oxide、酸化インジウム錫),  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ などの透明導電性酸化物、またはそれらの複合物を挙げることができる。

【0028】透明導電層14の上には少なくとも一層の有機化合物層が形成されている。有機化合物層としては、陽極及び陰極から注入された正孔と電子のキャリアの再結合により光を放出する発光層16と発光層16へ正孔を輸送する正孔輸送層18と電子を輸送する電子輸送層20の3種類がある。これらは必要に応じて、発光層16のみを使用する単層構造、発光層16と正孔輸送層18あるいは発光層16と電子輸送層20を使用する2層構造、発光層16と正孔輸送層18と電子輸送層20を使用する3層構造として使用される。

【0029】発光層16から放出される発光波長は、発光層16に用いられる発光材料を変えることにより適宜選ぶことができる。

【0030】上述した発光層16としては、8-ヒドロキシキノリン金属錯体（特開昭59-194393号公報）等の金属キレート化オキシノイド化合物や、ブタジエン誘導体、ペリノン誘導体、ビススチリルベンゼン誘導体（特開平3-1163186号公報）などを挙げることができる。高分子系の材料では、ポリ（パラフェニレンビニレン）系の誘導体が代表的な例である。発光スペクトルの形としては、短波長側の立ち上がりが鋭いものが望ましい。

【0031】また、正孔輸送層18の材料としては、芳香族3級アミンを有する化合物が代表的である。この例としては、アリールアミン、トリアリールアミンである化合物がある（USP No. 4175960, USP No. 453950）。特に、耐熱性の高い3級アミン系化合物が望ましく、これ

には、トリアリールアミンの多量体がある。

【0032】電子輸送層20としては、代表例として8-ヒドロキシキノリン金属錯体（特開昭59-194393）やオキサゾール誘導体（Appl. Phys. Lett. 55, 1489 (1989)）がある。

【0033】これら発光層16、正孔輸送層18、電子輸送層20の材料としては、有機発光素子用として用いられてきた従来公知の材料すべてを用いることができる。また、有機化合物層は前述の有機化合物単体のみでなく、ドーピングによって高効率化したもの、ポリ（パラフェニレンビニレン）の誘導体、汎用の高分子に分散させた混合層も利用可能である。これらの有機化合物の種類や積層構造の構成は特に限定されない。

$$L = \frac{\lambda}{2} \left( \frac{n_{\text{eff}}}{\Delta n} \right) + \sum n_i d_i \cos \theta \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$ は共振している光の波長、 $n_{\text{eff}}$ は多層膜ミラーの有効屈折率、 $\Delta n$ は多層膜ミラーの2つの層の屈折率の差、 $n_i$ と $d_i$ は微小光共振器内の透明導電層及び有機化合物層の屈折率と層厚、 $\theta$ は有機化合物層同士または有機化合物層と透明導電層との各界面に入射す

\* 【0034】これらの有機化合物層の上には金属ミラー22が形成されている。金属ミラー22は陰極として機能するほかに、発光層16から放出された光を反射する機能も合わせ持っている。

【0035】この金属ミラー22としては、仕事関数の小さなものを用い、キャリアである電子が有機化合物層へ注入されやすくしている。また、光の反射率が高いことが望ましく、具体的には90%以上の反射率を有することが望ましい。金属ミラー22の具体例としては、Al, Mg, Ca, Li, Na, Ag, Yおよびその合金がある。

【0036】このようにして得られた微小光共振器型有機電界発光素子は安定性の向上、特に大気中の水分、酸素に対する保護のために、別途保護層を設けたり、素子全体をセル中に入れたりしても良い。また、素子から発生する熱を放出するために熱伝導性の保護層で覆う方法や、金属ミラーの上をさらに同種金属あるいは他の金属で覆う方法が考えられる。これらにより素子の安定性は向上する。以上述べた本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子においては、多層膜ミラー12と金属ミラー22の対で微小光共振器が形成されている。この微小光共振器により発光層16から放出された光のうち特定波長のものが共振し強められる。従って、発光層16から放出された光の中から所望の波長の光を取り出すことができるので、高い発光効率を有する発光スペクトルの幅が広い有機発光材料を発光層16に使用しても、半値幅の狭い鋭いピークの発光を得ることができる。

【0037】図5には、本発明の微小光共振器型有機電界発光素子における微小光共振器の部分の断面図が示される。尚、図5には有機化合物層が発光層16のみの単層構造の例が示されているが、2層構造、3層構造の場合においても以下に述べる原理は同様である。

【0038】図5に示されるように、微小光共振器は、多層膜ミラー12と金属ミラー22とによって構成され、その中に透明導電層14と発光層16（有機化合物層）とが存在する。従って、微小光共振器においては、発光層16の厚さ、透明導電層14の厚さとそれぞれの屈折率との積及び共振している時に光が多層膜ミラー12へ浸み込む深さとを加えたものが光学長となる。

【0039】微小光共振器の光学長Lは、以下の式により算出される。

【0040】

【数2】

る光と界面に立てた法線とのなす角度である。

【0041】上式において、第1項の $\lambda/2 (n_{\text{eff}}/\Delta n)$ は、共振している光が多層膜ミラー12へ浸み込む深さを表している。第1項からわかるように、 $n_{\text{eff}}$ と $\Delta n$ とは、多層膜ミラー12を構成する材料によ

ってきまる定数であるので、光の波長 $\lambda$ が決まれば浸み込む深さも決まることになる。また、第2項における各層の屈折率 $n_i$ も材料によってきまる定数であり、また多層膜ミラー12の各層の厚さは上述の通り $\lambda/4$ に設定されている。従って、光学長 $L$ は、透明導電層14及び発光層16の厚さ $d_i$ を変更することにより制御することができる。

【0042】微小光共振器に共振する光の波長は、上述の光学長 $L$ によって決定される。すなわち、光学長 $L$ が $1/2$ 波長の整数倍に相当する光が微小光共振器に共振

できる。図5には、 $1/2$ 波長の3倍すなわち $1.5$ 波長が光学長 $L$ に等しい光が描かれているが、共振する光の波長としてはこれが最も長波長である。

【0043】以上述べた通り、透明導電層14と有機化合物層の合計の厚みを薄くし、光学長 $L$ を小さくして行くと、微小光共振器に共振して素子から放出される光の波長も短波長側に変化して行く。素子から放出される光が短波長になると、素子前方への指向性が高い光を得ることができる。また、光学長 $L$ を小さくすると素子の発

光モードを単一モードにすることができる。

【0044】すなわち、微小光共振器の光学長 $L$ を制御して、素子から放出される光の波長を、図6に示されるように、微小光共振器がない場合、つまり用いられる発光材料そのものの発光スペクトルのピークの波長 $\lambda_m$ よりも短波長側であり、かつ発光スペクトルの立ち上がり部であるAの波長(nm)範囲とする。Aの波長(nm)範囲としては、例えば $(\lambda_m - 10)$ から $(\lambda_m - 50)$ の範囲がよい。 $(\lambda_m - 50)$ より短波長側では発光層16から放出される光の発光強度が低下するので発光素子として機能できなくなる。また、 $(\lambda_m - 10)$ より長波長側では、観察角度が変化して、素子から放出される光が短波長側に変化した場合に、微小光共振器がない場合の発光スペクトルにはその波長に対応する光が高い強度で存在するので、その角度から観察するとこれらの光が見えてしまい、素子から放出される光に観察角度への依存性が表れてしまう。このため、素子から放出される光は、分光しないと素子前方への強い指向性を得ることができない。

【0045】これに対して、上述のAの範囲内では、観察角度が変化して、素子から放出される光が短波長側に変化しても、微小光共振器がない場合の発光スペクトルにはその波長に対応する光が存在しないかまたは強度が極めて低いので、素子から出力される光の観察角度への依存性を除去することができ、素子前方への指向性が高い光を得ることができる。

【0046】また、図5に示される光学長 $L$ を大きな値に設定した場合、素子から放出させる目標となる光は、光学長 $L$ に対して $1/2$ 波長の3倍で共振する光ではなく4倍あるいはそれ以上で共振する光となる。この場合、 $1/2$ 波長の3倍で共振する光も存在し、この光が

上述の発光スペクトルにおける強度の高い領域に残ってしまい低次モードとなる(図12参照)ので素子から放出される光が多重モードとなってしまう。

【0047】以上より、単一モードの光を得るには、光学長 $L$ を目標となる光の波長の $1.5$ 倍( $1/2$ 波長の3倍)とすることが必要である。このための1つの方法として、上記式(1)の第2項における透明導電層14と有機化合物層の厚さ $d_i$ を小さくすればよい。この場合、光学長 $L$ を発光波長の $1.5$ 倍にするには、透明導電層14と有機化合物層の合計膜厚を少なくとも $150$ nm以下にする必要がある。また、他の方法として、最上層を透明導電層14で置き換えた多層膜ミラー12を使用する方法がある。この方法では、図12に示されるように、透明基板10の上に、低屈折率化合物と高屈折率化合物とが交互に積層され、最後の低屈折率化合物の上に透明導電性化合物が形成されている。図12において、多層膜ミラー12の最上層が多層膜ミラー12と透明導電層14とで兼用されている。このような多層膜ミラー12を使用した微小光共振器型有機電界発光素子の例が図13に示される。図13において、多層膜ミラー12の最上層自体が透明導電層14として作用するので、透明導電層14を独立して設ける必要がない。従って、微小光共振器の厚さとしては余裕がでることになり、その分透明導電層14の厚さを厚くすることが出来る。これにより、透明導電層14の電気抵抗を低くすることが出来る。

【0048】尚、図6には、多層膜ミラー12の光透過率も示される。図6に示された光透過率において、高反射領域すなわちストップバンドの幅は、微小光共振器をもたない場合の発光スペクトルを覆うことができるように設定される。その領域での反射率は50から99.9%(透過率では50から0.1%)の範囲が好ましいが、素子の用途に応じて適宜選択することができる。一般に、反射率が高いほど得られる光のスペクトルの半値幅が狭くなり鋭いピークとなる。

【0049】以下に本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の具体的な実施例とそれに対する比較例を説明する。

【0050】実施例1. 素子から放出される光の波長を $500$ nmとして、以下の条件により微小光共振器型有機電界発光素子を制作した。

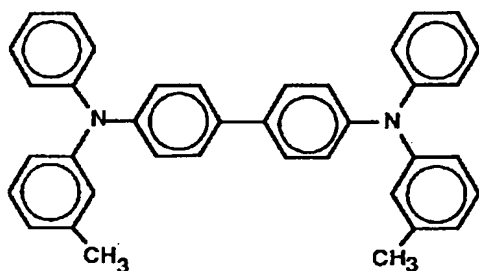
【0051】透明ガラス基板上にRFマグネトロンスパッタ法で $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ の順で最後が $\text{TiO}_2$ 層になるように、交互に各4層積層した多層膜ミラーを形成した。その際のストップバンドの中心波長は $550$ nmで設計した。この多層膜ミラーのストップバンドでの透過率は10%であった。この多層膜ミラーの上にRFマグネトロンスパッタ法で透明導電層(ITO)を $60$ nm形成した。これら基板を有機溶剤で十分に洗浄後、真空蒸着装置内に固定した。まず、正孔輸送層として、ト

リフェニルジアミン誘導体を20 nm、発光層としてアルミキノリノール錯体を30 nm蒸着した。これにより、透明導電層と有機化合物層の合計が110 nmとなった。

【0052】以下に、トリフェニルジアミン誘導体とアルミキノリノール錯体の構造式を示す。

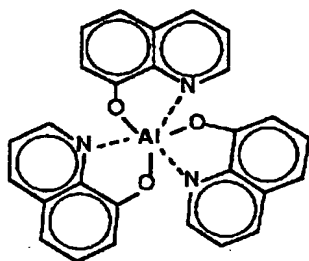
【0053】

【化1】



トリフェニルジアミン誘導体

【化2】



アルミキノリノール錯体

この素子における微小光共振器の光学長は、透明導電層と有機化合物層の厚さと屈折率及び多層膜ミラーへの浸み込み量から、上述の式(1)により、目的とする波長500 nmの1.5倍すなわち750 nmになった。最後に陰極としてMgAg合金(10:1)を180 nm蒸着した。

【0054】以上により、図2に相当する微小光共振器型有機電界発光素子が制作された。この素子に8 Vの電圧を印加したところ、鮮明な青緑の発光が得られた。その発光スペクトルを図7に示す。発光スペクトルは510 nmのみピークがあり、他にピークは観察されず、単一モードの発光であることが分る。また、観察角度 $\theta$ を変えても発光ピークの移動は小さく、かつ強度も急激に小さくなっている。これより、素子から放出される光の観察角度依存性が除去されていることがわかる。

【0055】分光しないで測定した全体の放出光の放射パターンを図8に示す。分光していないにもかかわらず、素子前方(角度 $=0^\circ$ )へ強い指向性が得られた。素子前方に微小光共振器をもたない素子よりも強い光が放出されていることもわかった。

【0056】比較例1. RFマグネトロンスパッタ法でTiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>の順で最後がSiO<sub>2</sub>層になるように、交互に各4層積層した多層膜ミラーを形成した。

最後をSiO<sub>2</sub>層としたのは、従来そのような構成の素子が提案されていたからである。

【0057】その上にRFマグネトロンスパッタ法でITOを約200 nm形成した。この基板に、トリフェニルジアミン誘導体を50 nmとアルミキノリノール錯体を60 nm蒸着した。これにより、透明導電層と有機化合物層の厚さの合計は310 nmとなった。

【0058】本比較例においては、多層膜ミラーの最上部が屈折率の低いSiO<sub>2</sub>なので、ITOとの界面での反射があまりなく、式(1)を適用する際には、この層の膜厚を透明導電層、正孔輸送層、発光層の膜厚に加える必要がある。従って、最上部のSiO<sub>2</sub>、透明導電層、正孔輸送層、発光層の膜厚と屈折率及び多層膜ミラーへの浸み込み量から、微小光共振器の光学長は、目的とする波長500 nmの約2.5倍となった。最後に陰極としてMgAg合金(10:1)を180 nm部のSiO<sub>2</sub>、透明導電層、正孔輸送層、発光層の膜厚と屈折率及び多層膜ミラー蒸着した。

【0059】本比較例の発光スペクトルを図9に示す。

500 nmに鋭いピークを持つ発光が確認できる。また、長波長側にも、他の発光ピークが観察され、多重モードとなった。この長波長側の発光スペクトルにおいては、観察角度 $\theta$ を変えると発光ピークが短波長側へ大きく移動した。

【0060】比較例2. 実施例1と同様に多層膜ミラーを形成した基板に、厚さ60 nmのITOを形成した。この上に、トリフェニルジアミン誘導体40 nmとアルミキノリノール錯体50 nmを順次成膜した。光学長は目的とする波長570 nmの約1.5倍となった。最後に、MgAg電極を180 nm真空蒸着した。

【0061】本比較例の素子の発光スペクトルを図10に示す。570 nmに鋭い発光ピークが認められる。その他の発光ピークは観察されず、単一モードの発光となっていることが分る。しかし、本比較例においては、目的とする波長570 nmが、図6に示される範囲Aよりも長波長であるため、観察角度 $\theta$ を変えると、発光ピークは短波長側へ大きく移動した。分光した特定の光では強い指向性が認められたが、全放射光の放射パターンは図11に示すように指向性はほとんど認められなかった。

【0062】実施例2. 発光層の材料を変更し、実施例1とは異なる色の光を放出する微小光共振器型有機電界発光素子を作した。

【0063】透明ガラス基板にRFマグネトロンスパッタ法でSiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>の順で最後がTiO<sub>2</sub>層になるように、交互に各4層積層した多層膜ミラーを形成した。ストップバンドの中心波長は620 nmで設計した。この多層膜ミラーのストップバンドでの透過率は10%であった。多層膜ミラーの上にRFマグネトロンスパッタ法でITOを60 nm形成した。これら基板は有

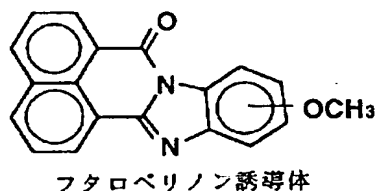
機溶剤で十分に洗浄後、真空蒸着装置内に固定した。

【0064】次に、正孔輸送層として、トリフェニルジアミン誘導体を50nm、発光層としてフタロペリノン誘導体を50nm蒸着した。最後に金属電極であるMgAg合金を180nm蒸着した。

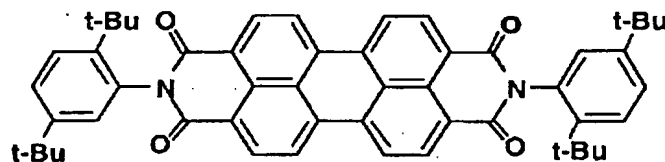
【0065】以下に、フタロペリノン誘導体の構造式を示す。

【0066】

【化3】



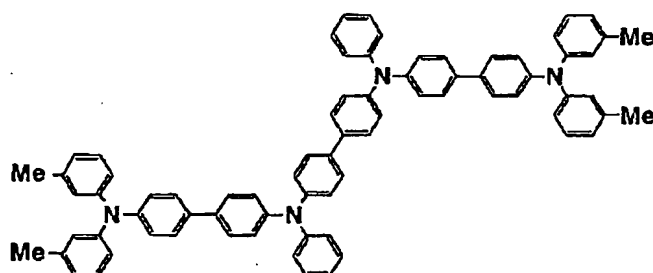
本実施例の素子に10Vの電圧を印加したところ、鮮明な黄緑色の発光が得られた。発光スペクトルからは540nmのみピークがあり、他にピークは観察されなかった。放射パターンは素子前方への強い指向性が達成でき\*



本実施例の素子に10Vの電圧を印加したところ、鮮明なオレンジ色の発光が得られた。発光スペクトルからは600nmのみピークがあり、他にピークは観察されなかった。放射パターンは素子前方への強い指向性が達成できた。

【0072】実施例4. ガラス基板上にRFマグネトロンスパッタ法で、低屈折率化合物であるSiO<sub>2</sub>を96.5nm、高屈折率化合物であるTiO<sub>2</sub>を58.3nm、この順で交互に各3回積層し、次にSiO<sub>2</sub>、最後に透明導電性化合物としてのITOを73.7nm形成して、図12に示されるような多層膜ミラーを形成し※

トリフェニルアミン4量体



【化6】

\*た。

【0067】実施例3. 実施例2とは更に発光色の異なる微小光共振器型有機電界発光素子を制作した。

【0068】透明ガラス基板上にRFマグネトロンスパッタ法でSiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>の順で最後がTiO<sub>2</sub>層になるように、交互に各4層積層した多層膜ミラーを形成した。この多層膜ミラーのストップバンドの中心波長は700nmで設計した。この多層膜ミラーのストップバンドでの透過率は10%であった。多層膜ミラーの上にRFマグネトロンスパッタ法でITOを60nm形成した。

【0069】次に、正孔輸送層として、トリフェニルジアミン誘導体を60nm、発光層としてペリレン誘導体を60nm蒸着した。最後に金属電極であるMgAg合金を180nm蒸着した。

【0070】以下に、ペリレン誘導体の構造式を示す。

【0071】

【化4】

※た。この多層膜ミラーは、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>のみの場合と同程度の性能であり、反射率として90%以上を達成できた。この多層膜ミラーの上に、トリフェニルアミン4量体を50nm形成し、次にアルミキノリノール錯体とキナクリドンの共蒸着によってキナクリドンが1%ドープされた発光層を60nm形成した。その後、MgAgの電極（金属ミラー）を180nm形成した。

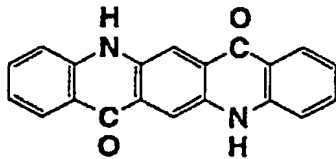
【0073】以下に、トリフェニルアミン4量体及びキナクリドンの構造式を示す。

【0074】

【化5】



## キナクリドン



本実施例の素子に、6 Vの電圧を印加したところ、鮮明な緑色の発光が得られ、その発光ピークは、図14に示されるように、530 nmであった。図14においては、横軸に波長が、縦軸に発光強度がそれぞれ示されている。また、図15には、本実施例の素子からの発光の放射パターンが示される。図12から分かるように、非常に高効率に前方への指向性を達成できた。この場合、前方側での光強度は、最高で5000 cd/m<sup>2</sup>に達した。光強度を高くできるのは、前述したように、透明導電層の厚さを厚くでき、電気抵抗を低くすることができるので、電流による発熱を低く押さえることができ、電流を多く流すことができるからである。

【0075】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、レンズやフィルターを使用せずとも、単色性に優れ、かつ高効率で前方への指向性を持った微小光共振器型有機電界発光素子を提供できる。

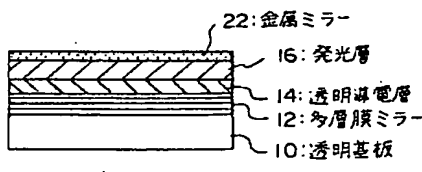
【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の例の断面図である。

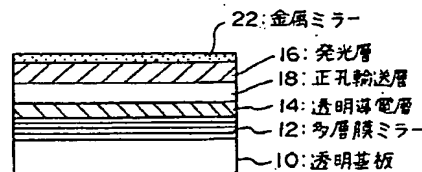
【図2】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の他の例の断面図である。

【図3】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の更に他の例の断面図である。

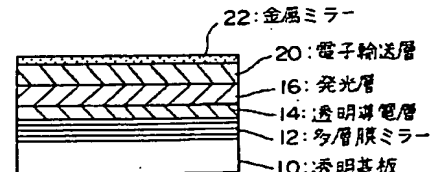
【図1】



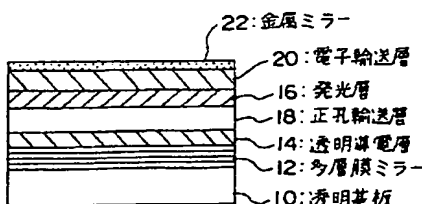
【図2】



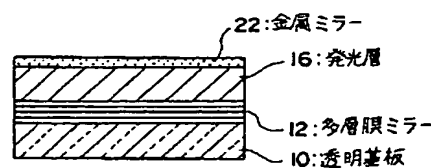
【図3】



【図4】



【図13】



【図4】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の更に他の例の断面図である。

【図5】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子における微小光共振器の部分の断面図である。

【図6】 微小光共振器がない場合の発光スペクトルと多層膜ミラーの透過率、および発光モード位置の関係を示す図である。

【図7】 実施例1の発光スペクトルとその角度依存性を示す図である。

【図8】 実施例1の放射パターンを示す図である。

【図9】 比較例1の発光スペクトルとその角度依存性を示す図である。

【図10】 比較例2の発光スペクトルとその角度依存性を示す図である。

【図11】 比較例2の放射パターンを示す図である。

【図12】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子における微小光共振器の部分の他の例の断面図である。

【図13】 本発明に係る微小光共振器型有機電界発光素子の更に他の例の断面図である。

【図14】 実施例4の発光スペクトルを示す図である。

【図15】 実施例4の放射パターンを示す図である。

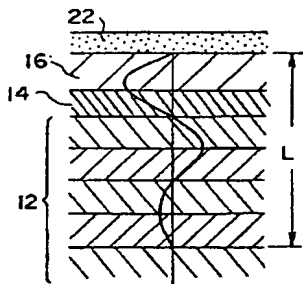
【図16】 微小光共振器をもつ従来の有機電界発光素子の一般的な発光スペクトルとその角度依存性を示す図である。

【図17】 微小光共振器をもつ従来の有機電界発光素子の一般的な放射パターンを示す図である。

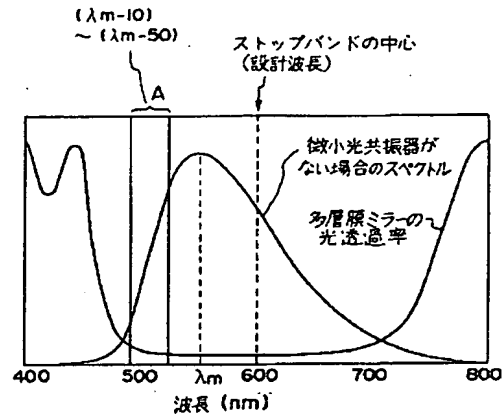
【符号の説明】

10 透明基板、12 多層膜ミラー、14 透明導電層、16 発光層、18 正孔輸送層、20 電子輸送層、22 金属ミラー。

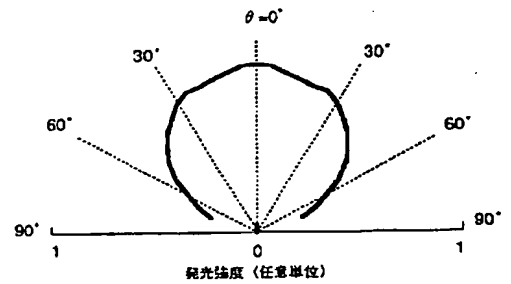
【図5】



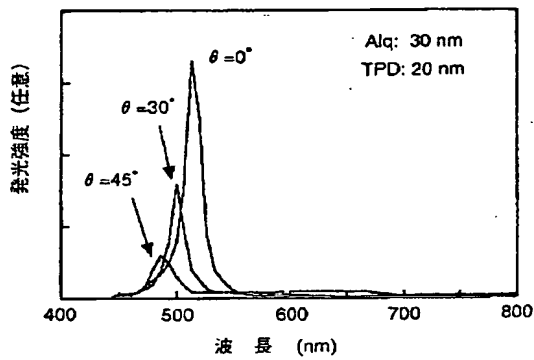
【図6】



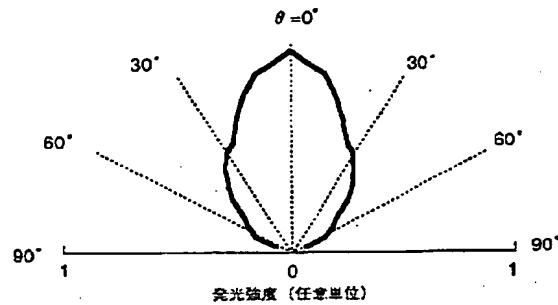
【図11】



【図7】

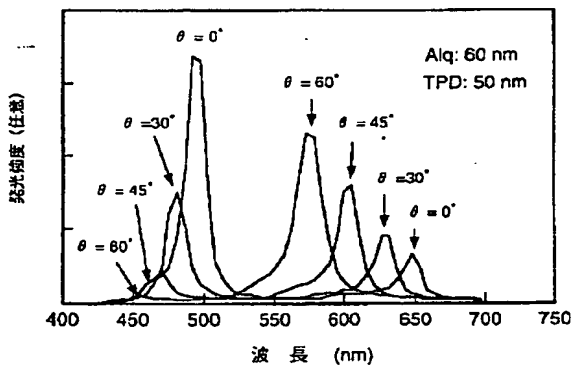


【図8】

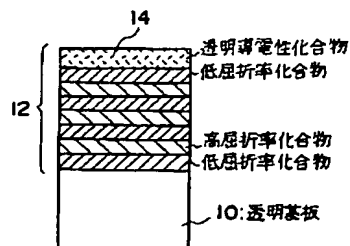


【図10】

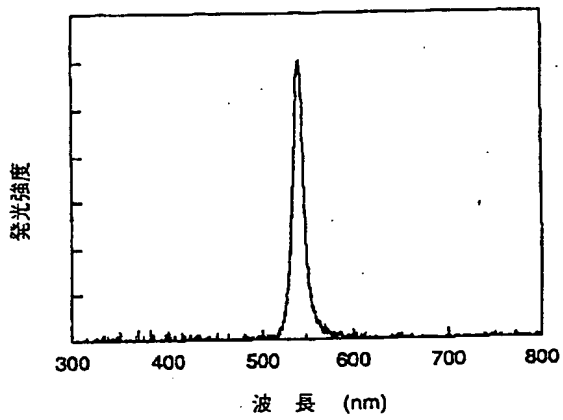
【図9】



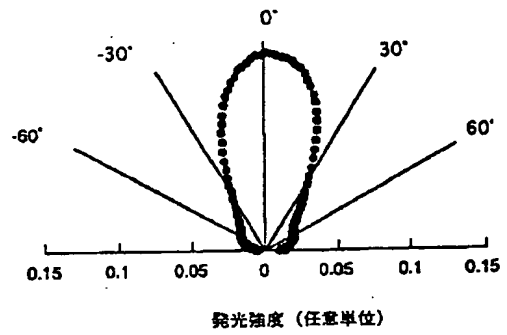
【図12】



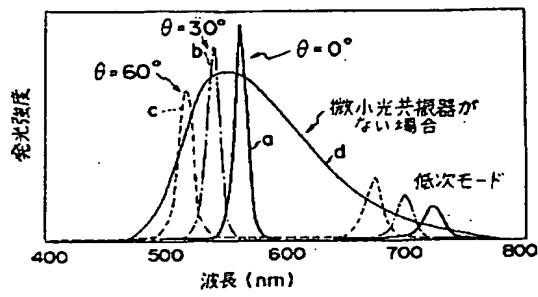
【図14】



【図15】



【図16】



【図17】

